■原著論文 (VISION Vol. 12, No. 2, 71-78, 2000)

周辺視野のカテゴリカル色知覚に及ぼす刺激サイズの影響

瀬川かおり・内川恵二

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259

(受付 2000 年 1 月 13 日；改訂受付 2000 年 2 月 2 日；受理 2000 年 2 月 10 日)

Effects of Stimulus Size on Categorical Color Perception in the Peripheral Visual Field

Kaori SEGAWA and Keiji UCHIKAWA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503, Japan

(*Received* 13 January 2000; *Received in revised form* 2 February 2000; *Accepted* 10 February 2000)

We measured changes in the categorical color appearance of the peripheral visual field as a function of stimulus size. Simulated OSA color chips of 8 chromatic colors produced by an LCD projector were presented at the fovea (0 deg) and at several eccentricities in the temporal visual field. A large gray surround field was illuminated by D_{65} fluorescent lamps at 2000 lx. The observer reported the color appearance of the stimulus with one of the eleven basic color terms. The results indicated that when the stimulus size increased to 10 deg diameter, it was possible for most of categories to achieve the same response at eccentricity of 90 deg. We derived sizes which had the same response with 50 % consistency as the category obtained at the fovea. It is suggested that categorical color perception is constant across the whole visual field if the stimulus is sufficiently large.

1．はじめに

これまでの周辺視野における色覚研究では，一般的に中心視野と周辺視野の色覚特性が異なることが報告されている．Uchikawa ら[1]は明所視レベルで色差弁別実験とカラーネーミング実験を行った．その結果，離心角(eccentricity)の増加に伴い，まず赤みと緑みによる弁別閾値が増加し，次に青みと黄み，最後に白みと黒みによる弁別閾値の増加が示された．また，鼻側視野 30 deg では第 2 色覚異常者と同様の色の見えになることを報告した．Moreland and Cruz[2]は，暗順応中に周辺視野に呈示された単色光刺激の色の見えを非対称カラーマッチング法により求めた．その結果，離心角の増加に伴い，特に中波長領域で彩度の低下が大きくなり，鼻側視野 30 deg で黄青の 2 色性，鼻側視野 50 deg で 1 色性が示された．その他，波長弁別法[3]などによる研究の報告がある．

周辺視野の色の見えを測定する際の重要な

刺激条件として，刺激サイズ[4-6]，刺激呈示時間[7]，刺激強度[8]，黄斑色素[9]，刺激背景強度[5,10]などが挙げられる．その中でも最も重要な条件は刺激サイズと考えられている[4-6]．

Abramovら[4]は，刺激サイズを 0.25 deg から 6 deg の間で変化させて暗黒中で周辺視野 40 deg まで色の見えの測定を行った．そして，周辺視野で中心視野と同様な色の見えを与える知覚視野サイズ (perceptive field size) を求めた．測定は赤，緑，黄，青で合計 100 になるような応答方法が用いられた．その結果，刺激サイズの増加により周辺視野 20 deg までは中心視野と同等の色の見えが得られることが示された．また，周辺視野で緑が最も大きな知覚視野サイズとなることが示された．Abramovら[5]は，刺激のまわりに白色背景をつけることで桿体の影響を取り除き，同様の実験を行った．その結果，白色背景をつけることで，多くの色応答で知覚視野サイズが小さくなり，また，知覚視野サイズが存在する視野範囲が広がることが示された．Nergerら[6]は，刺激サイズを 0.125 deg から 8 deg の間で変化させて，色相打ち消し法により耳側網膜 20 deg におけるユニーク黄，青，緑の測定を行った．その結果，ユニーク黄では刺激サイズや離心角の変化に対して色の見えの変化はみられなかった．ユニーク青では刺激サイズが 4 deg 以上になると中心窩の色の見えとほぼ一致した．ユニーク緑は刺激サイズの増加により中心窩の色の見えとの違いは減少するが，刺激サイズを最大にしても中心窩と同様な色の見えは得られなかった．

これらの研究から，周辺視野における色の見えは刺激サイズに大きく影響を受けるが，中心視野と周辺視野の色の見えの違いは色の見えの空間的な足し合わせ特性によりある程度は説明できることが明らかとなっている．

これまでの周辺視野の色の見えの研究は全て連続的な色の見えの変化をとらえた研究であるが，一方で私たちは類似した色を 1 つにまとめて表現することもできる．このカテゴリカル色知覚の測定を行った研究として，瀬川ら[11]は OSA (Optical Society of America) 色票を用いて明所視照度レベルで 11 基本色名[12]によるカテゴリカルカラーネーミング実験を行っている．その結果，中心視野の色名応答はおおよそ鼻側視野 30 deg，耳側視野 70 deg の視野範囲では変化がないことを報告している．また，各色名では特に，青と黄の視野範囲が広く，緑，紫の視野範囲が狭いこと，鼻側視野 30 deg，耳側視野 70 deg より外側視野では，赤，緑，ピンク，紫の応答の急激な減少と青，黄，白，黒，灰の応答の急激な増加が生じることも示した．このように，周辺視野では連続的な色の見えとカテゴリカル色知覚では異なる傾向を示している．

最近のいくつかの研究[13-16]により，カテゴリカル色知覚が基礎的な面からも応用的な面からも注目されている．周辺視野の色の見えの特性を知るには，刺激サイズがカテゴリカ

表 1　実験に用いた OSA 色票の (*L*, *j*, *g*) と CIE 1931 (*x*, *y*) 色度，プロジェクターによってシミュレートした刺激の輝度と CIE 1931 (*x*, *y*) 色度．

色名	OSA 色票の (L,j,g)	OSA 色票の色度 (x,y)	刺激の輝度 (cd/m^2)	刺激の色度 (x,y)
赤	(-4, 2, -8)	0.513, 0.316	57.9	0.512, 0.309
青	(-6, -4 2)	0.199, 0.197	25.2	0.187, 0.188
緑	(-2, 6, 4)	0.317, 0.510	143.0	0.323, 0.518
黄	(4, 12, 0)	0.439, 0.495	403.3	0.438, 0.501
紫	(-6, -4, -2)	0.293, 0.213	30.2	0.299, 0.211
オレンジ	(0, 8, -8)	0.539, 0.405	171.0	0.542, 0.413
ピンク	(0, 0, -8)	0.423, 0.307	179.1	0.422, 0.306
茶	(-6, 2, -2)	0.428, 0.382	35.4	0.443, 0.382

ル色知覚に与える影響を調べることも必要である．そこで本研究では，カテゴリカル色知覚を基にした測定法により，周辺視野の色の見えに及ぼす刺激サイズの影響を調べることを目的とした．

2．実験方法

2.1 刺激および実験装置

刺激としては11基本色のなかから有彩色8色（赤，青，緑，黄，紫，オレンジ，ピンク，茶）を示す代表的な色票を用いた．全てのOSA色票424枚の中から，瀬川ら[11]の実験において全被験者の中心窩での色名応答が一致した色票を抽出し，各有彩色で1枚をランダムに選択した．それらをD_{65}蛍光灯のもとで観察した場合を想定し，液晶プロジェクターによりシミュレートした．OSA色票ではなく液晶プロジェクターを用いた理由は，OSA色票はサイズが小さく一定であり，サイズの大きい刺激を呈示することが困難なためである．白，黒，灰の無彩色では中心窩で全被験者の応答が一致した色票が少なかったため，無彩色では実験を行わないことにした．

表1に用いたOSA色票の(L, j, g)とCIE 1931 (x, y)色度，プロジェクターによってシミュレートした刺激の輝度とCIE 1931 (x, y)色度を示す．図1に各刺激のCIE 1931 (x, y)色度をプロットした．太線はスペクトル軌跡を表し，細線は全てのOSA色票の分布範囲を示している．

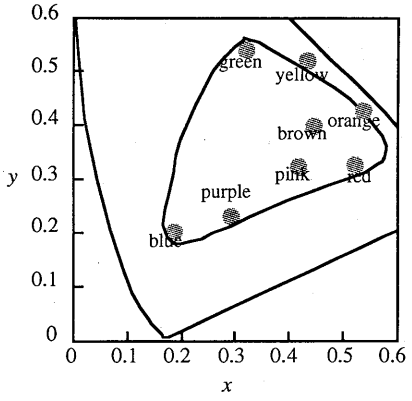

図1 実験に用いた色票のCIE 1931 (x, y)色度．太線はスペクトル軌跡を表し，細線は全てのOSA色票の分布範囲を示す．

図2に実験装置の概略図を示す．(a)が上方から見た図，(b)が前方から見た図となっている．被験者は頭部をあご台で固定され，直径90 cmのドーム状の半球で全視野が覆われる．半球の周辺部に固視点が置かれ，被験者は固視点を固視することにより，周辺視野で半球の中心に開けた開口部を刺激として観察する．開口部の後方には白色板が設置され，液晶プロジェクター(SHARP XV-E550)からの反射光が開口部に呈示される．この開口部は色票と同じ表面色モードで見える．半球内の照明にはD_{65}蛍光灯を4本使用し，照度は平均2000 lxである．このとき網膜照度は2000 scotopic tdとなり，この光強度は桿体の活動が飽和して錐体のみが活動する条件[17]となって

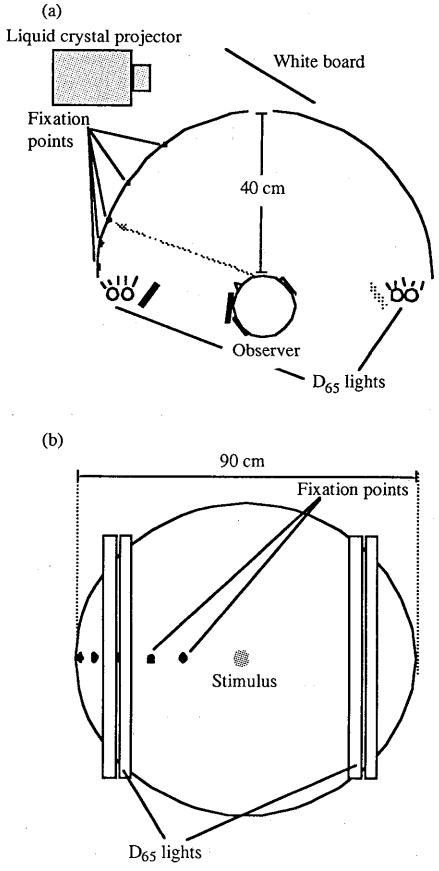

図2 液晶プロジェクターを用いた刺激呈示装置．(a) 上方から(b)前方からみた図を示す．

いる．全視野はほぼ一様に照明されている．視距離は 40 cm である．

刺激サイズは直径が視角 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10 deg の円形刺激と同等の面積のものを用いた．刺激の形状はサイズが 4 deg 以下では円形を用い，4 deg より大きい場合は 4 deg の円形刺激と横軸の長さが等しい縦の楕円を用いた（図 3）．たとえば，8 deg の刺激は横軸の長さは 4 deg，縦軸の長さは直径 8 deg の円形刺激と同じ面積になるように決められている．

大きい刺激の場合に横幅を一致させた理由は，刺激サイズを大きくしても水平方向の同じ網膜部位を刺激したかったためである．もし円形刺激を用いると，刺激サイズが増加することにより刺激が離心角のより小さい位置に入り込んでしまう．そのため，色の見えが回復してもその原因が純粋に刺激サイズの増加によるものなのかが明確とならないことになる．

刺激呈示位置は水平軸上で 0 deg（中心窩），耳側視野 30, 50, 70, 80, 90 deg である．周辺順応視野は灰色（OSA 明度レベル $L = -2$, マンセルバリュー $N = 5$）に塗装されている．刺激呈示時間外は開口部と周辺順応視野は等しい色の見えとなっている．この場合，開口部の輝度は灰色 OSA 色票 $(L, j, g) = (-2, 0, 0)$ をシミュレートした刺激で 120 cd/m² であった．

2.2 手続きおよび被験者

被験者は実験ブースに入り，試行前に照明光の下で 5 分間順応する．被験者は右眼単眼で固視点を固視し，試行は被験者がキーボードのボタンを押すことで開始される．刺激の呈示持続時間は 3 秒である．被験者は呈示された刺激の色の見えを一色名のみで答えるカテゴリカルカラーネーミング法で応答する．応答色名は 11 個の基本色名（赤，青，緑，黄，紫，オレンジ，ピンク，茶，黒，白，灰）の中の 1 色名に限定した．

1 条件につき 5 回の測定を行った．1 セッション内では刺激呈示位置と刺激サイズは固定し，8 色の刺激をランダムに計 5 回呈示した．セッション毎の刺激呈示位置，刺激サイズはランダムに選択した．被験者は色覚正常の女性 2 名 (KS, NS) であり，心理物理実験の経験者である．

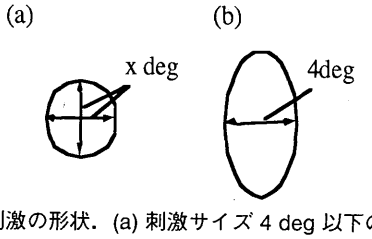

図 3 刺激の形状．(a) 刺激サイズ 4 deg 以下の刺激の形状は円形 (x = 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 deg)．(b) 刺激サイズ 8, 10 deg の刺激の形状は横軸 4 deg の縦の楕円形．

3．結果

図 4 に結果の一例として，被験者 NS の青応答の結果を示す．刺激サイズに対して中心窩の色名応答（2000 lx の刺激サイズ 4 deg におけるカテゴリカルカラーネーミング実験[11]で全被験者が一致して応答した色名）と同じ色名応答が得られた割合がプロットされている．たとえば，青の刺激において 1 条件の計 5 回の応答のうち青の応答が 2 回あった場合の一致率は 40 % となる．横軸の刺激サイズは，全刺激が円形であった場合の刺激の直径の二乗で表している．つまり，直径 1 deg の刺激の面積を 1 として面積の比で表されている．シンボルの違いは刺激呈示位置の違いを示す．

刺激サイズの減少方向についての測定は，色名応答が出来なくなった刺激サイズまで，増加方向については，100 % の一致応答が複数得られた刺激サイズまで行った．

結果をみると，離心角 0 deg を除く全ての刺激呈示位置において，刺激サイズの増加に伴い一致率が増加していることがわかる．また，刺激呈示位置の離心角が大きくなるにつれ，ゼロからの一致率の立ち上がりの刺激サイズが増加した．その他の色名，被験者でも

同様な傾向が得られた．

図5は図4のような結果をもとに，一致率が常に50％以上になる最小の刺激サイズの点とそれより1つ小さい刺激サイズの点を内挿し，一致率が50％になる刺激サイズを各刺激呈示位置で求めた結果を示している．この値をcritical area sizeと定め，中心視野の色名応答と同じ応答が得られる最小の刺激サイズとした．シンボルの違いは被験者の違いを表している．

離心角0degではその他の離心角と同様に刺激サイズを変化させて実験を行ったが，多くの色名でcritical area sizeを得ることができなかった．これは，0.125degの刺激サイズは作成可能な最小の刺激サイズであるのに対して，離心角0degでは0.125degのサイズでも50％以上の一致率を示したためである．

結果をみると，全ての色名で離心角の増加に伴いcritical area sizeが増加していることがわかる．しかし，各色名で増加の傾向は異なり，青，黄は耳側90degでもcritical area sizeは10degより小さいことが示された．その他の色名でも，少なくとも耳側70degまではcritical area sizeの増加は小さく，赤，緑，オレンジ，ピンク，茶はcritical area sizeが5deg以下であり，紫も被験者NSでは10deg以下を示した．

耳側80degや90degのcritical area sizeは被験者によりやや異なるが，急激な増加や測定不能になる傾向を示した．紫以外では，被験者KSにおいて100degのcritical area size，つまり，直径10degの円形刺激を用いることで，耳側視野90degまで中心視野の応答に対して50％以上の一致率が得られることが示された．紫のcritical area sizeは耳側視野80degまでしか得られなかった．

被験者NSの赤のcritical area sizeはすべての刺激呈示位置で得られなかった．中心視野において刺激サイズが100degでも赤の応答が得られなかった．つまり，赤の応答が得られなかったことは，被験者NSにとって刺激サイズが不十分であったためではなく，刺激の色票が適当でなかったためと考えられる．瀬川ら[11]において，被験者NSは中心視野の赤の応答数が他の被験者より極端に少なく，かつ，OSA色票に良い赤を示す色票が少ないため，安定した赤の応答が得られなかったと思われる．

4．考察

本研究結果から，直径10degの円形刺激の面積に相当する刺激サイズを用いることで，紫以外の8有彩色名では耳側90degまで，紫は耳側80degまで中心視野の色名応答と同じ

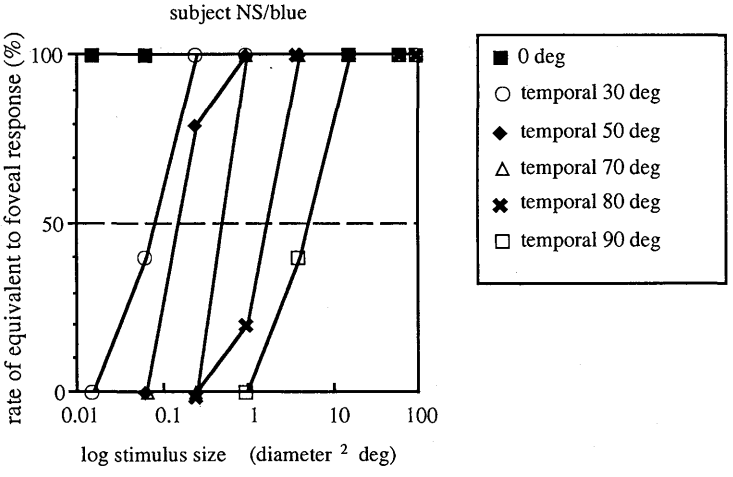

図4 刺激サイズに対する中心窩の色名応答との一致率の一例（被験者 NS の青応答の結果）を示す．シンボルの違いは各刺激呈示位置を表す．

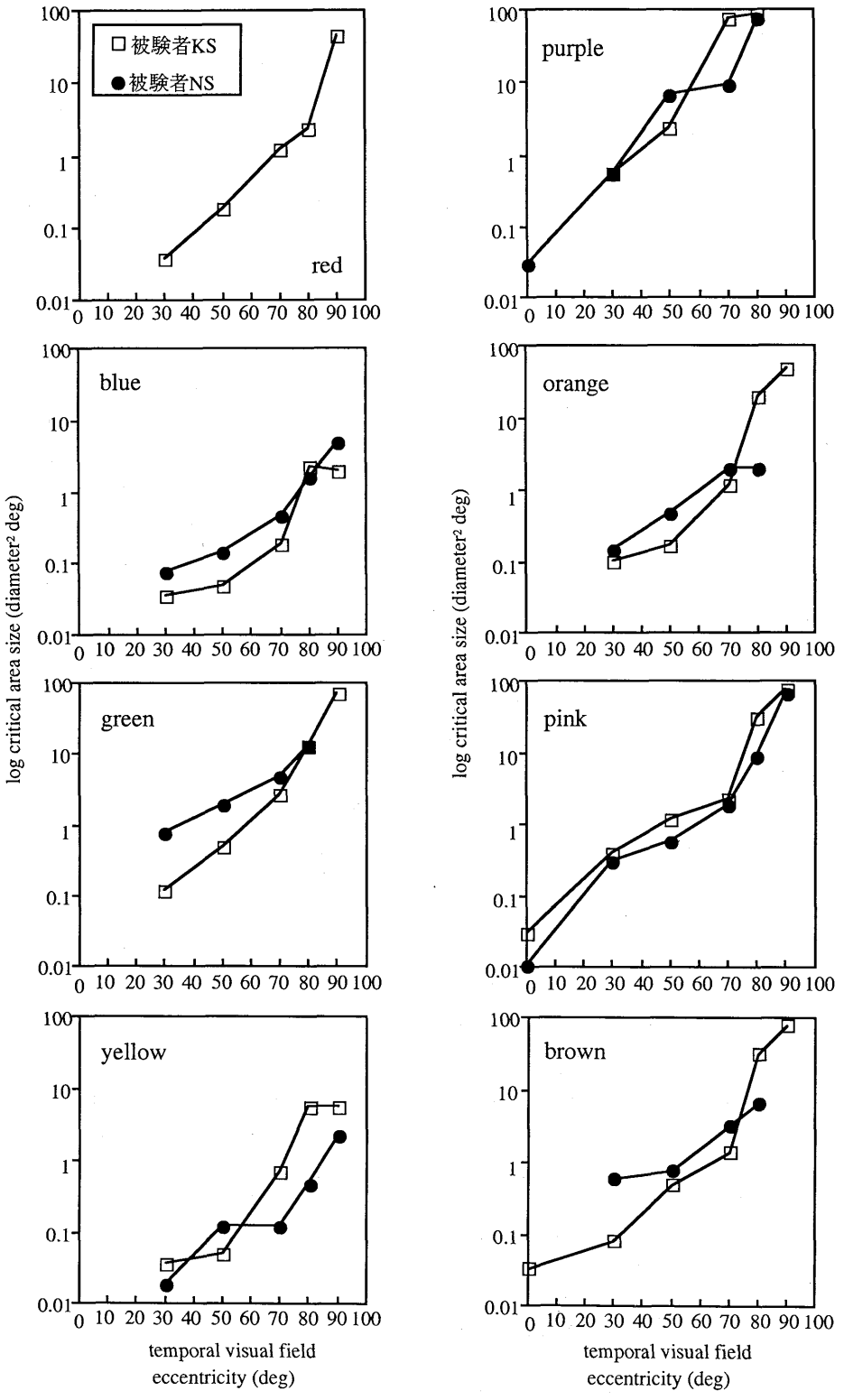

図5 離心角の変化と一致率 50 % の刺激サイズ (= critical area size) の結果を示す．
各シンボルは被験者の違いを示す（被験者 KS (□)，被験者 NS (●)）．

応答が得られることが示された．離心角の増加に対して，青と黄の critical area size の増加はより小さく，耳側 90 deg でも直径約 3 deg の円形刺激で中心視野の色名応答と同じ応答が得られることがわかった．

Abramovら[4,5]は，刺激呈示条件や critical size の決定方法で本研究と異なるが，緑の critical size が最も大きく，青，黄，赤は類似しているという今回の結果とは異なる傾向を示している．しかし，青，黄に対して緑が劣化した傾向を示している点は一致している[4-6]．

また，Abramovら[5]の白色背景条件の耳側 40 deg では，青以外の critical size はおおよそ直径 1 deg 以上になっている．一方，本研究では耳側 40 deg では全ての色名で critical area size は直径 1 deg 以下であった．特に，青，黄，赤は直径が 0.3 deg 以下となった．これらの結果から，色み成分応答よりも色名応答の方が，周辺視野において刺激サイズが小さくても，中心視野と同様な応答が得られることがわかった．

また，高瀬ら[10]は本研究とほぼ同一の刺激背景強度を用いて刺激サイズ 2 deg によるカラーネーミング実験を行い，耳側視野 70 deg では赤，青，緑，黄の色の見えはおおよそ 40 % 前後の色み成分を有することを示した．本研究結果では耳側視野 70 deg での各 4 色名の critical area size は 2 deg 以下となっている．これらの結果から，各色み成分の割合が半分以下であってもその色み成分が色名として応答されていることが示唆された．

これまでの連続的な色の見えを基にした研究の多くは，測定視野位置が比較的狭い視野範囲に限られていた．これは，周辺視野縁部では刺激サイズを大きくしても中心視野と同じ色の見えに回復しないためである．一方，本研究では類似した色を１つにまとめて表現するカテゴリカル色知覚の測定を行い，中心視野に対して周辺視野の色の見えがわずかに変化しても，色名としては同一のものとして応答することができた．その結果，刺激サイズを十分大きくすることで，中心視野の色の見えに対して同じ色名応答が得られる視野範囲は視野縁部に達することが示された．

カテゴリカル色知覚は網膜や反対色レベルより上位レベルの大脳皮質Ｖ１野からＶ４野，下側頭皮質に対応する部位が存在するとされている[18,19]．つまり，刺激サイズが小さい場合には，網膜や反対色レベルでは空間的足し合わせが得られず中心視野と周辺視野の色応答にわずかに違いが生じるが，上位レベルでは微妙な色の見えの違いが１つの色名に吸収され，同じ色名情報が伝達されることが示唆された．

私たちは日常生活で行動を決定する場合に色名情報が重要な手がかりとなることが多い．本研究を応用面からとらえると，色を判断して行動するための表示物において，広い視野範囲にわたり同じ色名応答を得るのに必要な刺激サイズについての提案ができると思われる．また，特に青と黄の critical area size が離心角の全域にわたって小さいことが明らかになったので，この特性も利用できそうである．

今回用いた刺激は各色名で色票１枚づつであり，他の色票を用いることで若干異なる傾向が生じることも考えられる．完全な定量化には更なる実験が必要と考えられる．

５．まとめ

本研究では，周辺視野における色の見えに及ぼす刺激サイズの影響を11基本色名を用いたカテゴリカルカラーネーミングによって調べた．その結果，刺激サイズを 10 deg（直径）にすることで，ほとんどの色名で耳側 90 deg の視野位置まで中心視野と同じ色名応答が得られることがわかった．

私たちは日常生活で行動を決定する場合に色名情報が重要な手がかりとなる．視野位置の変化に伴って微少な色の見えが変化しても，私たちがそれほど不都合を感じないのは，ある程度の大きさの刺激であれば広視野

範囲にわたってカテゴリー的な色の見えに変化が生じていないからではないだろうか．本研究でもカテゴリカル色知覚の重要性が示されたと言えよう．

本研究の一部は第８回（社）照明学会研究・教育助成金（奨励研究）によって行われた．

文　献

1) H. Uchikawa, P. K. Kaiser and K. Uchikawa: Color-discrimination perimetry. *Color Research and Application*, 7, 264-272, 1982.
2) J. D. Moreland and A. C. Cruz: Color perception with the peripheral retina. *Optica Acta*, 6, 117-151, 1958.
3) U. Stabell and B. Stabell: Color-vision mechanisms of the extrafoveal retina. *Vision Research*, 24, 1969-1975, 1984.
4) I. Abramov, J. Gordon and H. Chan: Color appearance in the peripheral retina: effects of stimulus size. *Journal of the Optical Society of America A*, 8, 404-414, 1991.
5) I. Abramov, J. Gordon and H. Chan: Color appearance across the retina: effects of a white surround. *Journal of the Optical Society of America A*, 9, 195-202, 1992.
6) J. L. Nerger, V. J. Volbrecht and C. J. Ayde: Unique hue judgments as a function of test size in the fovea and at 20-deg temporal eccentricity. *Journal of the Optical Society of America A*, 12, 1225-1232, 1995.
7) D. O. Weitzman and J. A. S. Kinney: Effect of stimulus size, duration, and retinal location upon the appearance of color. *Journal of the Optical Society of America*, 59, 640-643, 1969.
8) B. Stabell and U. Stabell: Bezold-brucke phenomenon of the far peripheral retina. *Vision Research*, 22, 845-849, 1982.
9) H. Hibino: Red-green and yellow-blue opponent-color responses as a function of retinal eccentricity. *Vision Research*, 32, 1955-1964, 1992.
10) 高瀬正典，内川惠二：明順応周辺網膜における色光の見え．*光学*，20, 521-529, 1991.
11) 瀬川かおり，内川惠二，栗木一郎：周辺視野におけるカテゴリカル色知覚．*照明学会誌*，83, 860-868, 1999.
12) B. Berlin and P. Kay: Basic color terms. University of California Press, Berkeley, 1969.
13) K. Uchikawa and R. M. Boynton: Categorical color perception of Japanese observers: Comparison with that of Americans. *Vision Research*, 27, 1825-1833, 1987.
14) R. M. Boynton and C. X. Olson: Locating basic color in the OSA space. *Color Research and Application*, 12, 94-105, 1987.
15) K. Uchikawa and H. Shinoda: Influence of basic color categories on color memory discrimination. *Color Research and Application*, 21, 430-439, 1996.
16) 内川惠二：カテゴリカル色知覚と高効率カテゴリカル蛍光ランプ．*視覚の科学*，18, 135-137, 1998.
17) G. Wyszeki and W. S. Stiles: Color Science. John Wiley and Sones, New York, 112-114 and 580-582, 1967.
18) H. Komatsu, Y. Ideura, S. Kaji and S. Yamane: Color selectivity of neurons in the inferior temporal cortex of the awake macaque monkey. *Journal of Neuroscience*, 12, 408-424, 1992.
19) V. Walsh, J. J. Kulikowski, S. R. Butler and D. Carden: The effects of lesions of area V4 on the visual abilities of macaques: colour categorization. *Behavioural Brain Research*, 52, 81-89, 1992.